

TNO-rapport
TM-96-A045

titel
**Extrapolatie van antropometrische
gegevens**

TNO Technische Menskunde

Kampweg 5
Postbus 23
3769 ZG Soesterberg

auteur
P.J. Werkhoven

Telefoon 0346 35 62 11
Fax 0346 35 39 77

datum
1 november 1996

Alle rechten voorbehouden.
Niets uit deze uitgave mag worden
vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt
door middel van druk, fotokopie, microfilm
of op welke andere wijze dan ook, zonder
voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd
uitgebracht, wordt voor de rechten en
verplichtingen van opdrachtgever en
opdrachtnemer verwezen naar de
Algemene Voorwaarden voor onderzoeks-
opdrachten aan TNO, dan wel de
betreffende terzake tussen partijen
gesloten overeenkomst.
Het ter inzage geven van het TNO-rapport
aan direct belanghebbenden is toegestaan.

aantal pagina's : 30 (incl. bijlagen,
excl. distributielijst)

© 1996 TNO

DISTRIBUTION STATEMENT A

Approved for public release;
Distribution Unlimited

19970212 022

DTIC QUALITY INSPECTED 3



titel : Extrapolatie van antropometrische gegevens
auteur : Dr. P.J. Werkhoven
datum : 1 november 1996
opdrachtnr. : A95/M/370
IWP-nr. : 789.1
rapportnr. : TM-96-A045

Antropometrische studies verschaffen informatie over lichaamsmaten zoals die nu en in het verleden gemeten zijn. Een belangrijke vraag is hoe deze gegevens gebruikt kunnen worden om een bruikbare voorspelling te doen van de lichaamsmaten die een doelpopulatie over enkele jaren karakteriseren. In opdracht van de Koninklijke Luchtmacht heeft TNO Technische Menskunde een studie gedaan naar hoe actuele antropometrische bestanden geëxtrapoleerd kunnen worden naar de nabije toekomst. De beschreven methode is toegepast op een antropometrische onderzoek (ANTRO 1995) dat TNO-TM onlangs in opdracht van de Koninklijke Luchtmacht heeft uitgevoerd. Hierbij werden diverse antropometrische maten bepaald van schoolverlaters (HAVO/VWO) in 1995. In verband met te stellen selectiecriteria wil de Koninklijke Luchtmacht graag weten wat de antropometrische karakteristieken zijn van deze populatie in 1997.

Studies die de groei van een zekere populatie direct beschrijven worden *longitudinale* studies genoemd. Hierbij wordt dezelfde populatie met tijdsintervallen van een half jaar of een jaar bemeten, waardoor de groei in beeld gebracht wordt. Longitudinale studies zijn echter schaars omdat ze een langdurige financiering vereisen en omdat het succes afhangt van het in de tijd kunnen blijven traceren van de te bemeten individuen. Het kan echter ook via een omweg.

Longitudinale groei kan namelijk opgesplitst worden in twee componenten: *transversale* veranderingen en *seculaire* veranderingen. Transversale veranderingen zijn verschillen tussen lichaamsmaten van verschillende leeftijdscategorieën in een bepaald jaar (een momentopname). Seculaire veranderingen zijn verschillen tussen lichaamsmaten van een leeftijdscategorie in verschillende jaren gemeten.

Longitudinale groei van *stahoogte* kan met voldoende nauwkeurigheid geschat worden uit transversale en seculaire veranderingen (*directe* extrapolatie). De meest recente transversale studies laten zien dat 19.5 jarige mannen ongeveer 1.7 cm langer zijn dan 17.5 jarige mannen. Zo zijn 19.5 jarige vrouwen 0.4 cm langer dan 17.5 jarige vrouwen. De seculaire groei van zowel mannen als vrouwen bedraagt 0.16 cm per jaar.

Op basis van deze transversale en seculaire gegevens wordt geschat dat de stahoogte van 17.5-jarige mannelijke Nederlandse schoolverlaters (HAVO/VWO, gemiddeld over ras en regio) in 1995 nog met 2.0 cm zal toenemen tot een stahoogte van 182.9 cm in 1997. Zo wordt geschat dat de stahoogte van 17.5-jarige vrouwelijke schoolverlaters nog met 0.7 cm zal toenemen tot 170.2 cm in 1997.

Er bestaan geen transversale of seculaire studies naar andere lichaamsmaten dan stahoogte. Daarom kunnen de overige lichaamsmaten slechts op *indirecte* wijze geëxtrapoleerd worden (zo zijn sommige lichaamsmaten lineair gerelateerd aan stahoogte). De extrapolatiefouten daarbij zijn echter onacceptabel hoog (bv. een fout van 5 cm voor zithoogte op een verwachte waarde in 1997 van 95 cm voor mannen en 89.6 cm voor vrouwen). Voor enkele lichaamsmaten (bv. bilknieschijfdiepte) is het gerechtvaardigd aan te nemen dat zij proportioneel (lineair zonder constante) variëren met stahoogte, resulterend in een kleinere extrapolatiefout van 0.3 cm bij een verwachte waarde van 64 cm voor mannen en 60 cm voor vrouwen.

Succesvolle extrapolatie is dus slechts mogelijk voor stahoogte en indirecte extrapolatie van overige lichaamsmaten leidt onvermijdelijk tot relatief grote extrapolatiefouten. Het is daarom van belang om in de toekomst transversale en seculaire veranderingen in lichaamsmaten onder schoolverlaters (ANTRO 1995) en (volgroeide) studenten regelmatig (bv. om de vijf jaar) te meten.

REPORT DOCUMENTATION PAGE

1. DEFENCE REPORT NUMBER (MOD-NL) RP 96-0186	2. RECIPIENT'S ACCESSION NUMBER	3. PERFORMING ORGANIZATION REPORT NUMBER TM-96-A045
4. PROJECT/TASK/WORK UNIT NO. 789.1	5. CONTRACT NUMBER A95/M/370	6. REPORT DATE 1 November 1996
7. NUMBER OF PAGES 30	8. NUMBER OF REFERENCES 19	9. TYPE OF REPORT AND DATES COVERED Final
10. TITLE AND SUBTITLE Extrapolatie van antropometrische gegevens (Extrapolation of anthropometric data)		
11. AUTHOR(S) P.J. Werkhoven		
12. PERFORMING ORGANIZATION NAME(S) AND ADDRESS(ES) TNO Human Factors Research Institute Kampweg 5 3769 DE SOESTERBERG		
13. SPONSORING/MONITORING AGENCY NAME(S) AND ADDRESS(ES) Director of Defence Research and Development Plein 4 2511 CR DEN HAAG		
14. SUPPLEMENTARY NOTES		
<p>15. ABSTRACT (MAXIMUM 200 WORDS, 1044 BYTE)</p> <p>By order of the Royal Netherlands Air Force, TNO Human Factors Research Institute has carried out a study on how to infer from anthropometric data available the expected longitudinal changes in body measures of present-day high-school graduates. <u>Longitudinal</u> growth is determined by repeatedly measuring the body measures of the same subjects over a longer period of time and can be decomposed into two components: <u>transversal</u> and <u>secondary</u> changes. Transversal changes are the differences between body measures of different age-groups measured in a particular year (a snapshot). Secondary changes are the differences between body measures in different years for a particular age-group. Longitudinal growth of <u>stature</u> can be inferred sufficiently accurately from transversal and secondary changes (<u>direct</u> extrapolation). Most recent transversal studies show that 19.5-year old men are approximately 1.7 cm taller than 17.5-year old men (0.4 cm for women). The secondary growth of full-grown men and women is 0.16 cm per year. From these transversal and secondary changes we infer that the stature of 17.5 year old male Dutch high-school graduates (averaged across region and race) in 1995 will increase by 2.0 cm to 182.9 cm in 1997. The body-length of 17.5-year old female high-school graduates in 1995 will increase by 0.7 cm to 170.2 cm in 1997. Transversal and secondary studies on other body measures than stature do not exist in the Netherlands. The extrapolation of body measures other than body-length, therefore, can be done only through <u>indirect extrapolation</u> (some body measures are approximately linearly related to body-length). However, the extrapolation errors are not acceptable (for example, 5-7 cm for sitting height). However, for some body measures such as the buttock-knee length, it is justified to assume proportionality with body-height (linearity with zero off-set) resulting in a reduced extrapolation error (0.3 cm). Thus, successful direct extrapolation is limited to stature and indirect extrapolation of other body measures inevitably results in large errors. It is, therefore, of importance to actually measure transversal and secondary changes of different body measures of high-school graduates (ANTRO 1995) as well as students (full-grown) on a regular basis (e.g. every five year).</p>		
16. DESCRIPTORS		IDENTIFIERS
Anthropometry Extrapolation Longitudinal Growth Secular Increase Transversal Increase		
17a. SECURITY CLASSIFICATION (OF REPORT)	17b. SECURITY CLASSIFICATION (OF PAGE)	17c. SECURITY CLASSIFICATION (OF ABSTRACT)
18. DISTRIBUTION/AVAILABILITY STATEMENT Unlimited availability		17d. SECURITY CLASSIFICATION (OF TITLES)

titel : Extrapolatie van antropometrische gegevens
auteur : Dr. P.J. Werkhoven
datum : 1 november 1996
opdrachtnr. : A95/M/370
IWP-nr. : 789.1
rapportnr. : TM-96-A045

Antropometrische studies verschaffen informatie over lichaamsmaten zoals die nu en in het verleden gemeten zijn. Een belangrijke vraag is hoe deze gegevens gebruikt kunnen worden om een bruikbare voorspelling te doen van de lichaamsmaten die een doelpopulatie over enkele jaren karakteriseren. In opdracht van de Koninklijke Luchtmacht heeft TNO Technische Menskunde een studie gedaan naar hoe actuele antropometrische bestanden geëxtrapoleerd kunnen worden naar de nabije toekomst. De beschreven methode is toegepast op een antropometrische onderzoek (ANTRO 1995) dat TNO-TM onlangs in opdracht van de Koninklijke Luchtmacht heeft uitgevoerd. Hierbij werden diverse antropometrische maten bepaald van schoolverlaters (HAVO/VWO) in 1995. In verband met te stellen selectiecriteria wil de Koninklijke Luchtmacht graag weten wat de antropometrische karakteristieken zijn van deze populatie in 1997.

Studies die de groei van een zekere populatie direct beschrijven worden *longitudinale* studies genoemd. Hierbij wordt dezelfde populatie met tijdsintervallen van een half jaar of een jaar bemeten, waardoor de groei in beeld gebracht wordt. Longitudinale studies zijn echter schaars omdat ze een langdurige financiering vereisen en omdat het succes afhangt van het in de tijd kunnen blijven traceren van de te bemeten individuen. Het kan echter ook via een omweg.

Longitudinale groei kan namelijk opgesplitst worden in twee componenten: *transversale* veranderingen en *seculaire* veranderingen. Transversale veranderingen zijn verschillen tussen lichaamsmaten van verschillende leeftijdscategorieën in een bepaald jaar (een momentopname). Seculaire veranderingen zijn verschillen tussen lichaamsmaten van een leeftijdscategorie in verschillende jaren gemeten.

Longitudinale groei van *stahoogte* kan met voldoende nauwkeurigheid geschat worden uit transversale en seculaire veranderingen (*directe* extrapolatie). De meest recente transversale studies laten zien dat 19.5 jarige mannen ongeveer 1.7 cm langer zijn dan 17.5 jarige mannen. Zo zijn 19.5 jarige vrouwen 0.4 cm langer dan 17.5 jarige vrouwen. De seculaire groei van zowel mannen als vrouwen bedraagt 0.16 cm per jaar.

Op basis van deze transversale en seculaire gegevens wordt geschat dat de stahoogte van 17.5-jarige mannelijke Nederlandse schoolverlaters (HAVO/VWO, gemiddeld over ras en regio) in 1995 nog met 2.0 cm zal toenemen tot een stahoogte van 182.9 cm in 1997. Zo wordt geschat dat de stahoogte van 17.5-jarige vrouwelijke schoolverlaters nog met 0.7 cm zal toenemen tot 170.2 cm in 1997.

Er bestaan geen transversale of seculaire studies naar andere lichaamsmaten dan stahoogte. Daarom kunnen de overige lichaamsmaten slechts op *indirecte* wijze geëxtrapoleerd worden (zo zijn sommige lichaamsmaten lineair gerelateerd aan stahoogte). De extrapolatiefouten daarbij zijn echter onacceptabel hoog (bv. een fout van 5 cm voor zithoogte op een verwachte waarde in 1997 van 95 cm voor mannen en 89.6 cm voor vrouwen). Voor enkele lichaamsmaten (bv. bilknieschijfdiepte) is het gerechtvaardigd aan te nemen dat zij proportioneel (lineair zonder constante) variëren met stahoogte, resulterend in een kleinere extrapolatiefout van 0.3 cm bij een verwachte waarde van 64 cm voor mannen en 60 cm voor vrouwen.

Succesvolle extrapolatie is dus slechts mogelijk voor stahoogte en indirecte extrapolatie van overige lichaamsmaten leidt onvermijdelijk tot relatief grote extrapolatiefouten. Het is daarom van belang om in de toekomst transversale en seculaire veranderingen in lichaamsmaten onder schoolverlaters (ANTRO 1995) en (volgroeide) studenten regelmatig (bv. om de vijf jaar) te meten.

INHOUD	Blz.
SAMENVATTING	5
SUMMARY	6
1 INLEIDING	7
2 GROEICURVEN	7
2.1 Groeisnelheid	7
2.2 Verwachte groei	8
3 VERANDERENDE GROEICURVEN	9
3.1 $\partial L/\partial y$: seculaire toename gemiddelde stahoogte	9
3.2 $\partial L/\partial a$: transversale toename gemiddelde stahoogte	11
3.3 Typen groeiverdelingen als functie van stahoogte	12
3.4 Niet lineaire groeiverdelingen van stahoogte als functie van leeftijd	13
3.5 Validiteitscheck extrapolatiemethode stahoogte	13
3.6 Standaarddeviatie stahoogte	13
4 VOORBEELD: EXTRAPOLATIE STAHOOGTE DOELPOPULATIE KLu	15
4.1 Extrapolatie gemiddelde stahoogte KLu bron populatie	15
4.2 Fout in extrapolatie gemiddelde stahoogte bronpopulatie KLu	16
5 EXTRAPOLATIE OVERIGE LICHAAMSMATEN	16
5.1 De dimensionaliteit van het groeiproces	17
5.2 Correlaties lichaamsmaten met stahoogte	18
5.3 Regressiefuncties	18
5.4 Voorbeeld: Extrapolatie bil – knieschijfdiepte en zithoogte KLu	20
5.5 Fouten in extrapolatie van bil – knieschijfdiepte en zithoogte	21
5.6 Proportionaliteitsaanname	22
6 EFFECTEN VAN FOUTEN IN GEMIDDELDE EN IN STANDAARDDEVIATIE OP AFVALPERCENTAGE BIJ SELECTIE	22
6.1 Middelbare fout in populatiegemiddelde	23
6.2 Nauwkeurigheid	23
6.3 Middelbare fout in totaalgemiddelde van een aantal subpopulaties	24
6.4 Optimale verdeling van samples over subpopulaties: Minimalisatie ϵ^2 naar n_i	24
6.5 De fout in percentielwaarden	25
6.6 Invloed meetfouten op selectie volgens criterium	26
7 CONCLUSIES	27
REFERENTIES	30

Rapport nr.: TM-96-A045

Titel: Extrapolatie van antropometrische gegevens

Auteur: Dr. P.J. Werkhoven

Instituut: TNO Technische Menskunde
Afd.: Werkomgeving

Datum: november 1996

DO Opdrachtnummer: A95/M/370

Nummer in MLTP: 789.1

SAMENVATTING

TNO Technische Menskunde heeft in opdracht van de Koninklijke Luchtmacht bestudeerd hoe de veranderingen (longitudinale groei) in de lichaamsmaten van schoolverlaters (HAVO/VWO) die zullen optreden vanaf 17.5-jarige leeftijd in 1995 tot volgroei in 1997 geschat kunnen worden op basis van eerder antropometrisch onderzoek.

Longitudinale groei wordt bepaald door lichaamsmaten van dezelfde personen met regelmatige intervallen over een langere tijdsperiode te bemeten en kan opgesplitst worden in twee componenten: *transversale* veranderingen en *seculaire* veranderingen. Transversale veranderingen zijn verschillen tussen lichaamsmaten van verschillende leeftijdscategorieën in een bepaald jaar (een momentopname). Seculaire veranderingen zijn verschillen tussen lichaamsmaten van een leeftijdscategorie in verschillende jaren gemeten.

Longitudinale groei van *stahoogte* kan met voldoende nauwkeurigheid geschat worden uit transversale en seculaire veranderingen (*directe* extrapolatie). De meest recente transversale studies laten zien dat 19.5-jarige mannen ongeveer 1.7 cm langer zijn dan 17.5-jarige mannen. Zo zijn 19.5-jarige vrouwen 0.4 cm langer dan 17.5-jarige vrouwen. De seculaire groei van zowel mannen als vrouwen bedraagt 0.16 cm per jaar.

Op basis van deze transversale en seculaire gegevens wordt geschat dat de stahoogte van 17.5-jarige mannelijke Nederlandse schoolverlaters (HAVO/VWO, gemiddeld over ras en regio) in 1995 nog met 2.0 cm zal toenemen tot een stahoogte van 182.9 cm in 1997. Zo wordt geschat dat de stahoogte van 17.5-jarige vrouwelijke schoolverlaters nog met 0.7 cm zal toenemen tot 170.2 cm in 1997.

Er bestaan geen transversale of seculaire studies naar andere lichaamsmaten dan stahoogte. Daarom kunnen de overige lichaamsmaten slechts op *indirecte* wijze geëxtrapoleerd worden (zo zijn sommige lichaamsmaten lineair gerelateerd aan stahoogte). De extrapolatiefouten daarbij zijn echter onacceptabel hoog (bv. 5–7 cm voor zithoogte). Voor enkele lichaamsmaten (bv. bil–knieschijfdiepte) is het gerechtvaardigd aan te nemen dat zij proportioneel (lineair zonder constante) variëren met stahoogte, resulterend in een kleinere extrapolatiefout van 0.3 cm.

Succesvolle extrapolatie is dus slechts mogelijk voor stahoogte en indirecte extrapolatie van overige lichaamsmaten leidt onvermijdelijk tot relatief grote extrapolatiefouten. Het is daarom van belang om in de toekomst transversale en seculaire veranderingen in lichaamsmaten onder schoolverlaters (ANTRO 1995) en (volgroeide) studenten regelmatig (bv. om de vijf jaar) te meten.

Extrapolation of anthropometric data

P.J. Werkhoven

SUMMARY

By order of the Royal Netherlands Air Force, TNO Human Factors Research Institute has carried out a study on how to infer from anthropometric data available the expected longitudinal changes in body measures of present-day high-school graduates.

Longitudinal growth is determined by repeatedly measuring the body measures of the same subjects over a longer period of time and can be decomposed into two components: *transversal* and *secondary* changes.

Transversal changes are the differences between body measures of different age-groups measured in a particular year (a snapshot). Secondary changes are the differences between body measures in different years for a particular age-group.

Longitudinal growth of *stature* can be inferred sufficiently accurately from transversal and secondary changes (*direct* extrapolation). Most recent transversal studies show that 19.5-year old men are approximately 1.7 cm taller than 17.5-year old men. Similarly, 19.5-year old women are approximately 0.4 cm taller than 17.5-year old women. The secondary growth of full-grown men and women is 0.16 cm per year. From these transversal and secondary changes we infer that the stature of 17.5 year old male Dutch high-school graduates (averaged across region and race) in 1995 will increase by 2.0 cm to 182.9 cm in 1997. The body-length of 17.5-year old female high-school graduates in 1995 will increase by 0.7 cm to 170.2 cm in 1997.

Transversal and secondary studies on other body measures than stature do not exist in the Netherlands. The extrapolation of body measures other than body-length, therefore, can be done only through *indirect extrapolation* (some body measures are approximately linearly related to body-length). However, the extrapolation errors are not acceptable (for example, 5-7 cm for sitting height). However, for some body measures such as the buttock-knee length, it is justified to assume proportionality with body-height (linearity with zero off-set) resulting in a reduced extrapolation error (0.3 cm).

Thus, successful direct extrapolation is limited to stature and indirect extrapolation of other body measures inevitably results in large errors. It is, therefore, of importance to actually measure transversal and secondary changes of different body measures of high-school graduates (ANTRO 1995) as well as students (full-grown) on a regular basis (e.g. every five year).

1 INLEIDING

Antropometrische studies verschaffen informatie over lichaamsmaten zoals die nu en in het verleden gemeten zijn. Een belangrijke vraag is hoe deze gegevens gebruikt kunnen worden om een bruikbare voorspelling te doen van de lichaamsmaten die een doelpopulatie over enkele jaren karakteriseren.

Studies die de groei van een zekere populatie direct beschrijven worden *longitudinale* studies genoemd. Hierbij wordt dezelfde populatie met tijdsintervallen van een half jaar of een jaar bemeten, waardoor de groei in beeld gebracht wordt. Longitudinale studies zijn echter schaars omdat ze een langdurige financiering vereisen en omdat het succes afhangt van het in de tijd kunnen blijven traceren van de te bemeten individuen. In Nederland bestaat slechts een enkele betrouwbare brede longitudinale studie (Kemper, 1985) die gegevens verschaft over het groeiverloop van mensen met een leeftijd tussen de 12 en 14 in 1976 en gevolgd tijdens de periode tussen 1976 en 1979. Deze studie kan dus niet direct gebruikt worden voor de groeivoorspelling van de huidige jeugd. De gegevens van verouderde longitudinale studies kunnen echter gecombineerd worden met de gegevens uit *transversale* studies, waarbij op een bepaald moment gemeten wordt hoe de gemiddelde stahoogte afhangt van leeftijd (bv. De Wijn & De Haas, 1960; Van Wieringen, 1972; Statistisch Jaarboek, 1989–1995). Transversale studies zijn dus momentopnamen.

Door verschillende, in de tijd opeenvolgende, transversale studies naast elkaar te leggen kan men een indruk krijgen van de *seculaire* toename, bijvoorbeeld de stahoogte van 20-jarigen als functie van het meetjaar. In het volgende wordt aangegeven hoe op basis van bestaande longitudinale en transversale studies een voorspelling gedaan kan worden van de over enkele jaren te verwachten stahoogte van een nu bemeten leeftijdscategorie.

2 GROEICURVEN

Met een longitudinale studie heeft Kemper (1985) met intervallen van vier maanden de groei gevolgd van jongens en meisjes vanaf 12 jaar tot en met 17 jaar in de periode 1976–1979. Hieruit blijkt dat de groei van jongens en meisjes sterk verschilt (zie Fig. 1).

2.1 Groeisnelheid

De groeisnelheid van meisjes neemt geleidelijk af van ruim 5 cm per jaar op 13-jarige leeftijd tot 0 op 17-jarige leeftijd. Jongens, daarentegen, beleven een maximale groeisnelheid van ongeveer 7.5 cm per jaar tussen de 14 en 15 jaar, waarna de groeisnelheid langzaam afneemt tot ongeveer 1.5 cm per jaar op 17.5-jarige leeftijd. Het laatste stuk (16.5–17.5 jaar) van de groeisnelheidscurve verloopt vrijwel lineair (evenals voor meisjes in de staart van de groeisnelheidscurve), waardoor een lineaire extrapolatie geoorloofd is naar een groeistilstand voor jongens op 19-jarige leeftijd (zie ook Roede & Van Wieringen, 1985).

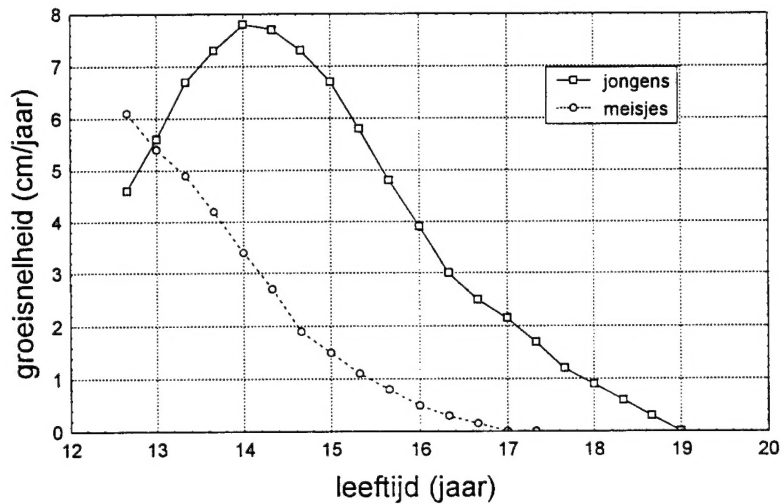


Fig. 1 Gemiddelde groeisnelheid van jongens (doorgetrokken lijn, vierkantjes) en meisjes (gestippelde lijn, rondjes) als functie van leeftijd (Fig. 10, blz 73 van Kemper, 1985).

2.2 Verwachte groei

Het is inzichtelijk om de nog verwachte groei (delta) naar uiteindelijke volwassen stahoogte te berekenen, gerekend vanaf een bepaalde leeftijd (x). De groei voor bijvoorbeeld jongens kan bepaald worden uit de groeisnelheidscurve en is de integraal van de groeisnelheid vanaf x tot 19 jaar. Het verband tussen nog te verwachten groei vanaf een bepaalde leeftijd is grafisch weergegeven in Fig. 2.

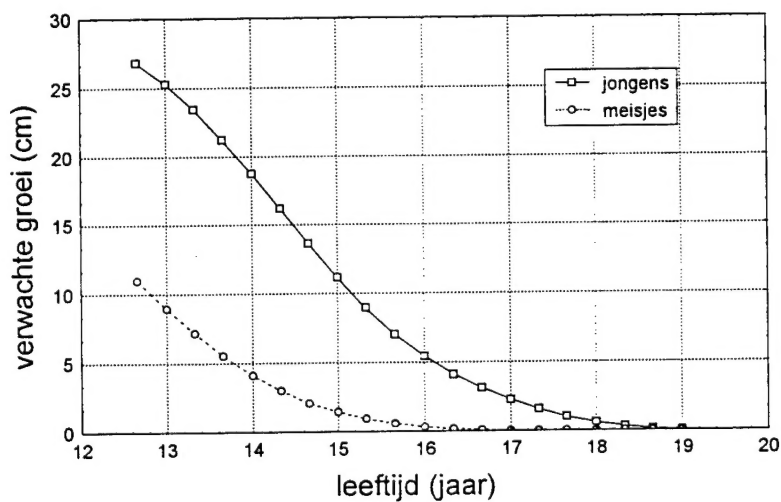


Fig. 2 Gemiddelde nog te verwachten groei naar uiteindelijke stahoogte van jongens en meisjes als functie van leeftijd. De doorgetrokken lijn (vierkantjes) is voor jongens, de gestippelde lijn (rondjes) voor meisjes.

Dit verband is, evenals groeisnelheid, vrijwel lineair voor jongens tussen 16.5–17.5 jaar. Jongens met een leeftijd van 17.5 jaar (de gemiddelde leeftijd van eindexamenkandidaten HAVO/VWO) groeien naar verwachting gemiddeld nog 1.2 cm tot ze volgroeid zijn op 19-jarige leeftijd (op basis van de data van Fig. 2).

3 VERANDERENDE GROEICURVEN

Onder (2) werden GROEICURVEN beschreven van kinderen gevolgd over de periode 1976–1979. Dergelijke GROEICURVEN bestaan niet voor de huidige generatie jongeren, waardoor de voorspelling van de nog verwachte groei van de huidige 17–18 jarigen op basis van andere studies geschat moet worden: transversaal onderzoek (stahoogte als functie van leeftijd in een bepaald meetjaar) en seculair onderzoek (stahoogte van een bepaalde leeftijd als functie van het meetjaar). Om de werkwijze inzichtelijk te maken kan het probleem formeel als volgt worden geformuleerd. De stahoogte (L van length) van een mens is een functie van het meetjaar (y van year) en de leeftijd (a van age), ofwel:

$$L = L(y, a).$$

Stel dat we de stahoogte van een groep met leeftijd a_0 kennen in meetjaar y_0 (bv. 17-jarigen, gemeten in 1995, zoals bij de KLu studie). Nu willen we voorspellen wat de lengte is na “ dx ” jaar, dus meetjaar $y_0 + dx$ en leeftijd $a_0 + dx$. Kortom, we kennen $L(y_0, a_0)$ en willen $L(y_0 + dx, a_0 + dx)$ voorspellen. Voor kleine dx (1 à 2 jaar) mogen we $L(y, a)$ lineair veronderstellen rond y_0, a_0 en geldt de eerste orde Taylor benadering:

$$L(y_0 + dx, a_0 + dx) = L(y, a) + \left(\frac{\partial L(y, a)}{\partial y} \Big|_{y_0, a_0} + \frac{\partial L(y, a)}{\partial a} \Big|_{y_0, a_0} \right) dx.$$

De term $\partial L(y, a) / \partial y \Big|_{y_0, a_0}$ moet gelezen worden als de partiële afgeleide van L naar y in het punt y_0, a_0 (de stahoogteverandering van leeftijdsgroep a_0 als functie van meetjaar) en wordt de seculaire toename genoemd. De term $\partial L(y, a) / \partial a \Big|_{y_0, a_0}$ is de toename met leeftijd binnen een transversale studie. Beide termen zijn in de literatuur te vinden.

3.1 $\partial L / \partial y$: seculaire toename gemiddelde stahoogte

In de statistische jaarboeken vindt men de gemiddelde stahoogte van mannen en vrouwen in verschillende leeftijdscategorieën (18–29 jaar, 30–39 jaar, 40–49 jaar, etc.) als functie van het meetjaar ('89, '90, etc.). De stahoogten zijn niet gemeten maar door de mensen zelf opgegeven. Uit recente studies van Molenbroek (1994) blijkt dat de opgegeven lengtes in de categorieën 18–29 en 30–39 vrij nauwkeurig overeen komen met gemeten lengtes. Op hogere leeftijd gaat de opgegeven lengte echter afwijken van de gemeten lengte. De stahoogte wordt namelijk iets kleiner met de leeftijd, maar ouderen blijven zich de uitgegroeide stahoogte van hun twintigste jaar herinneren. Dit heeft als consequentie dat ouderen vaak de stahoogte opgeven die ze hadden toen ze twintig waren en dat de kleine afname bij

ouderen bedekt blijft in deze data. Hier kunnen we echter ook ons voordeel mee doen. In feite wordt dan namelijk de 60–69 groep uit '94 even lang verwacht als de 20–29 groep uit '54 en de 50–59 groep even lang als de 20–29 groep uit '64, etc. We kennen uit de zelfopgave van nu dus de stahoogte van de volgroeide 20–29 groep vanaf 1920 (zie Fig. 3).

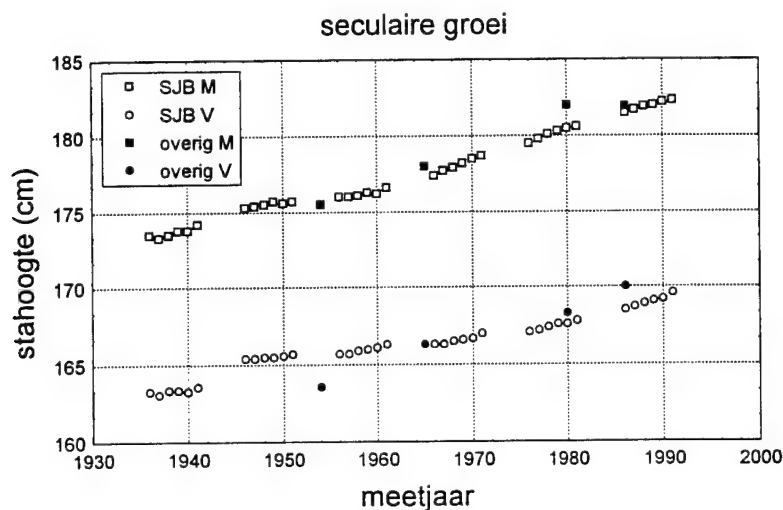


Fig. 3 Seculaire toename: gemiddelde stahoogte van de 20–29 groep als functie van het meetjaar. Vierkantjes tonen de stahoogten voor mannen, rondjes die voor vrouwen. De open symbolen zijn waarden uit de Statistische Jaarboeken, de gevulde symbolen uit transversale studies: De Wijn & De Haas (meetjaar '52–'56), Van Wieringen (meetjaar '64–'66), Roede & Van Wieringen (meetjaar '80) en Molenbroek (meetjaar '86).

Verder bestaan er transversale studies van:

- De Wijn & De Haas (1960): nationaal onderzoek met resultaten van o.a. 20-jarigen bemeten in de periode '52–'56,
- Van Wieringen (1972): nationaal onderzoek met resultaten van o.a. 20-jarigen bemeten in de periode '64–'66,

en kunnen we gebruik maken van enkele proefstudies:

- Molenbroek (1994): Delftse studenten tussen de 18 en 35 jaar met een gemiddelde van 21 jaar, bemeten in 1986,
- Roede & Van Wieringen (1985): 3e nationale groeionderzoek met resultaten van o.a. 20-jarigen bemeten in 1980.

De gegevens van deze studies zijn toegevoegd aan de gegevens uit de Statistische Jaarboeken.

Uit Fig. 3 blijkt een vrijwel lineair verband tussen de lengte van 20-jarige mannen en het meetjaar, met een coëfficiënt (seculaire toename) van 0.16 cm per jaar. Met uitzondering van de periode '55–'70 waarin een duidelijke dip in seculaire toename te zien was (vermoedelijk veroorzaakt door de Tweede Wereld oorlog) mogen we de seculaire toename ($\partial L / \partial y$) dus op 0.16 cm per jaar stellen voor mannen. Voor vrouwen lijkt de toename per meetjaar

niet constant te zijn maar toe te nemen van 0.10 cm/jaar rond 1960 zestig tot 0.16 cm/jaar rond 1990.

3.2 $\partial L/\partial a$: transversale toename gemiddelde stahoogte

De transversale toename van stahoogte met leeftijd in de periode van 5 tot 20 jaar kennen we voldoende nauwkeurig uit drie meetperioden, nl. De Wijn en De Haas ('52-'56), Van Wieringen ('64-'66) en het Statistisch Jaarboek '95 (in vorige Statistische Jaarboeken is geen transversale studie opgenomen). Deze transversale data zijn getoond in Fig. 4 en Fig. 5.

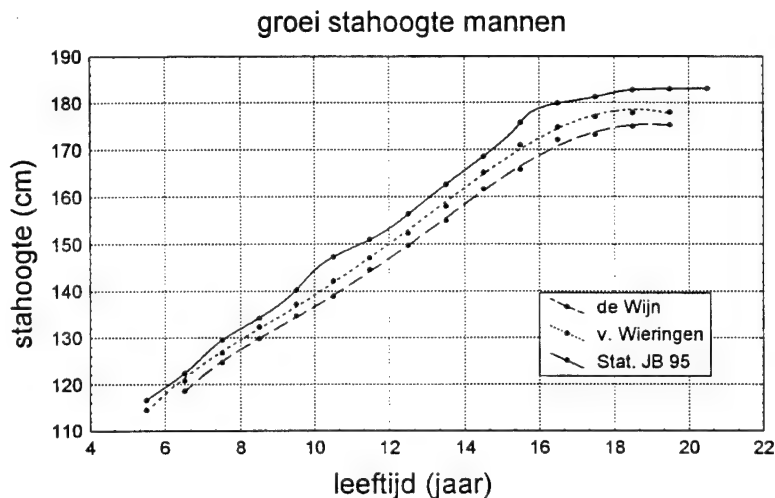


Fig. 4 Stahoogte van mannen als functie van leeftijd (in de range 5.5 tot 20.5 jaar) zoals gemeten in de perioden '52-'56 (De Wijn & De Haas, 1960), '64-'66 (Van Wieringen, 1972) en '90-'93 (Statistisch Jaarboek, 1995).

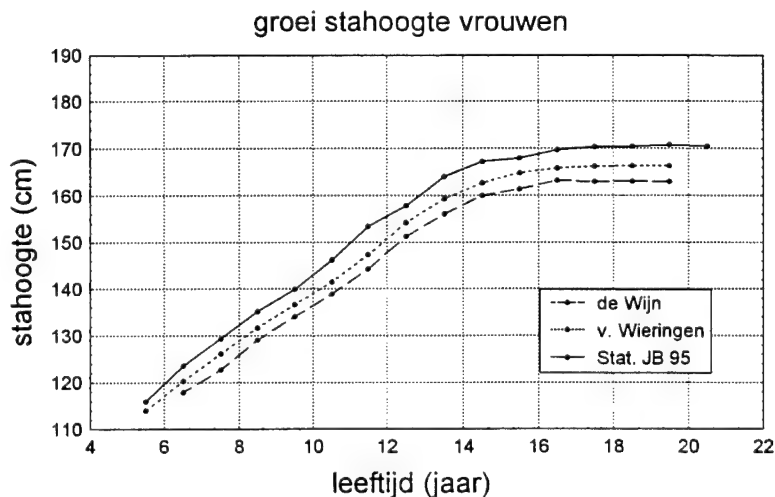


Fig. 5 Stahoogte van vrouwen als functie van leeftijd (in de range 5.5 tot 20 jaar) zoals gemeten in de perioden '52-'56 (De Wijn & De Haas, 1960), '64-'66 (Van Wieringen, 1972) en '90-'93 (Statistisch Jaarboek, 1995).

Hieruit is te zien dat het verschil in stahoogte van 19.5 en 17.5-jarige mannen (nu de gemiddelde leeftijd van eindexamenkandidaten HAVO/VWO) in de '52-'56 periode (De Wijn en De Haas) 1.5 cm bedroeg. Van Wieringen (1972) geeft een verschil van 1.1 cm voor de '64-'66 periode en het Statistisch Jaarboek '95 geeft een verschil van 1.7 cm voor de periode '90-'93. Daarbij kunnen de kinderen uit de '52-'56 periode qua stahoogte deels door de oorlog beïnvloed kunnen zijn. We houden de meest recente studie aan: 19.5-jarige mannen zijn gemiddeld 1.7 cm langer dan 17.5-jarigen.

Voor vrouwen is het verschil in stahoogte tussen 19.5-jarigen en 17.5-jarigen 0 cm voor de '52-'56 periode (De Wijn en De Haas) en 0.2 cm voor de '64-'66 periode (Van Wieringen). Echter volgens het Statistisch Jaarboek '95 waren de 19.5-jarige vrouwen in de periode '90-'93 gemiddeld 0.4 cm langer dan 17.5-jarigen.

Wanneer we de meest recente studie beschouwen, mogen we een transversale toename van 1.7 cm aanhouden voor mannen als vrouwen en 0.4 cm voor vrouwen.

3.3 Typen groeiverdelingen als functie van stahoogte

Tot nu toe is gesproken over de verschuivingen van gemiddelde lichaamsmaten als functie van leeftijd en meetjaar, d.w.z. er werd gekeken naar de plaats en vorm van de kansdichtheidsfuncties van een populatie. Om op individueel niveau een voorspelling te kunnen doen van doorgroei van lichaamsmaten is het wellicht mogelijk een genuanceerder beeld te krijgen van hoe de doorgroei afhangt, niet alleen van leeftijd en meetjaar, maar ook van de individuele stahoogte. Het zou bv. namelijk kunnen voorkomen dat individuen op hun 17^e met een kleine stahoogte relatief harder doorgroeien dan diegenen met een relatief grote stahoogte (inhaalgroei). Met dergelijke kennis zou de KLu haar voordeel kunnen doen bij selectieprocessen. Het is illustratief om naast inhaalgroei nog twee mogelijke afhankelijkheden te onderscheiden: constante groei en proportionele groei. Bij constante groei is de groei onafhankelijk van de individuele lichaamslengte op dat moment, maar groeit iedereen van een bepaald geslacht en geboortjaar ongeveer evenveel. Bij proportionele groei groeien langere individuen iets harder dan kortere, d.w.z. de doorgroei is een bepaalde factor maal de stahoogte.

Om deze drie klassen van doorgroei te onderscheiden kunnen we naar de breedte van de kansdichtheidsfuncties kijken, ofwel naar de standaarddeviaties (sd) van de verdeling. Het is namelijk zo dat bij constante groei de sd van de verdelingen constant blijft. Bij proportionele groei wordt de sd groter, en bij inhaalgroei wordt de sd kleiner. Aardig is dat uit de studie van Van Wieringen (1972, blz. 48, 49 en 136) blijkt dat de sd voor jongens constant is vanaf 16 jaar (voor meisjes vanaf 14 jaar), wat er op duidt dat we rond die leeftijd te maken hebben met constante groei. Proportionele groei lijkt zich op basis van onze hypothese bij jongens voor te doen op 12-jarige leeftijd. Er dient opgemerkt te worden dat mengvormen van deze groeiverdelingen ook een nul-effect kunnen hebben op de sd en dus niet uitgesloten kunnen worden.

3.4 Niet lineaire groeiverdelingen van stahoogte als functie van leeftijd

Fig. 2 laat de verwachte doorgroefunctie zien als functie van leeftijd. Deze is vrijwel lineair tussen 16.5 en 19 jaar. Wanneer we met een dergelijke lineaire doorgroefunctie te maken hebben is het geoorloofd om eerst het gemiddelde van de actuele populatie te nemen en dit gemiddelde te extrapoleren op basis van de doorgroefunctie voor het gemiddelde. Echter, wanneer de doorgroefunctie niet-lineair is, is deze methode niet langer geoorloofd. Dit is als volgt in te zien.

Stel dat we de stahoogte (L) gemeten hebben als functie van leeftijd (a) in een bepaalde leeftijdsklasse: $L(a)$. Stel ook dat de doorgroei over twee jaar een functie f is van de leeftijd: $f(a)$. Nu willen we de gemiddelde stahoogte in die leeftijdsklasse voorspellen voor een meetjaar twee jaar later. Laten we de individuele samples van de stahoogte $x_i(a_i)$ noemen. De gemiddelde stahoogte is dan $\langle x_i(a_i) \rangle$. De voorspelde stahoogte twee jaar later is dan $\langle x_i(a_i) + f(a_i) \rangle = \langle x_i(a_i) \rangle + \langle f(a_i) \rangle$.

Wanneer we echter van het gemiddelde uitgaan bij de extrapolatie wordt de voorspelling van de stahoogte over twee jaar $\langle x_i(a_i) \rangle + f(\langle a_i \rangle)$. Het is duidelijk dat dit alleen een correcte voorspelling geeft als $f(\langle a_i \rangle) = \langle f(a_i) \rangle$ en dat dit alleen geldt als $f(a)$ lineair is.

Bij niet-lineaire $f(a)$ is het dus beter om eerst individueel te extrapoleren en dan pas te middelen. Dit wordt bijvoorbeeld nodig wanneer de leeftijdsklasse bestaat uit jongens met leeftijden tussen 14 tot 17 jaar en de groei in dat interval niet lineair is met leeftijd (zie Fig. 2).

3.5 Validiteitscheck extrapolatiemethode stahoogte

Met behulp van de transversale en seculaire schattingen zouden we dus de longitudinale toename uit de Kemper ('76-'79) studie moeten kunnen voorspellen. Deze bedroeg voor mannen 1.2 cm van 17.5 tot 19 jaar. Voor de transversale toename nemen we de gegevens van Van Wieringen (1972) voor de periode '64-'66 die van de beschikbare studies het dichtst in de buurt komt van de Kemper periode (1.1 cm). Hierbij komt dan nog de seculaire toename van 0.16 cm per jaar, waarmee de geëxtrapoleerde longitudinale groei op ongeveer 1.3 cm komt. Hieruit blijkt dat de voorspelling redelijk uitkomt voor deze periode en bruikbaar kan zijn voor een voorspelling van de doorgroei van 17-18 jarigen die in '95 bemeten worden.

3.6 Standaarddeviatie stahoogte

Het kennen van de breedte of standaarddeviatie van de stahoogte gemeten op een bepaalde leeftijd en in een bepaald jaar is van groot belang bij het stellen van selectie criteria. Het percentage afvallers hangt namelijk van zowel het gemiddelde als van de standaarddeviatie af.

Standaarddeviaties kunnen allereerst variëren als functie van leeftijd. Om hiervan een beeld te krijgen gebruiken we de studies van Van Wieringen (1972) waarin de standaarddeviaties

van de stahoogteverdeling gegeven zijn als functie van leeftijd voor jongens en meisjes tussen 3 en 25 jaar. Deze gegevens (blz. 48, 49 en 136) zijn te zien in Fig. 6.

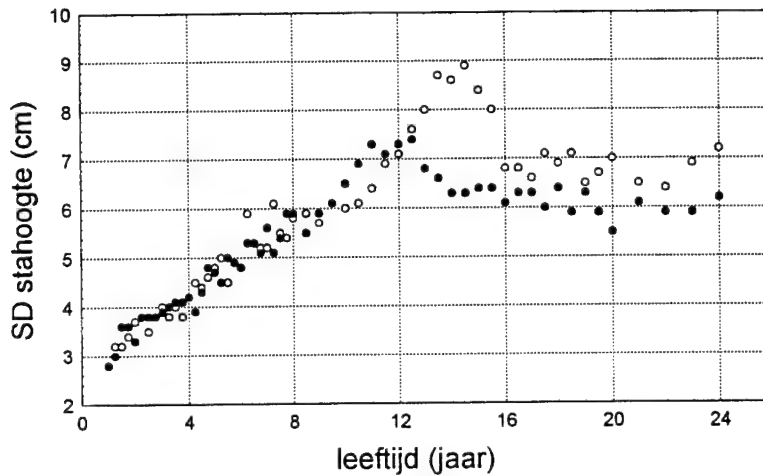


Fig. 6 Standaarddeviaties van de transversale stahoogteverdeling voor jongens (witte cirkels) en meisjes (zwarte cirkels) volgens Van Wieringen (1972).

Uit de studie van Van Wieringen (1972) blijkt dat de sd voor jongens vrijwel constant is (6.8 cm) vanaf 16 jaar en voor meisjes constant is vanaf 14 jaar (6.0 cm).

Tabel I Standaarddeviaties stahoogte.

studie	mannen			vrouwen		
	N	gem. (cm)	sd (cm)	N	gem. (cm)	sd (cm)
WIERINGEN 1965 ⁰	931	117.5	6.8	580	165.9	6.0
USARMY 1966 ¹	6682	174.52	6.6			
GROEI 1980		182.0	6.7		168.3	6.2
DUTCHMIL 1985 ²	1000	180.2	6.7			
DELSTU 1986	177	181.9	6.6	177	170.0	6.5
TNOHELI 1994 ³	47	182.3	6.1	7	172.9	2.2
TNOJACHT 1994 ³	62	182.8	5.6			
ANTRO 1995 ⁴	312	180.9	6.8	236	169.5	6.4

⁰ gemiddeld over leeftijden > 20 jaar (Van Wieringen, 1972, blz. 48, 49)
¹ gemiddeld over alle etnische groepen van US militairen (NASA, 1978, blz. II-33)
² NL militairen, geselecteerd op stahoogte tussen 156.0 en 200.0 (Brekelmans e.a., 1986)
³ geselecteerd op stahoogte tussen 163.0 en 193.0 (Daanen, 1995; Daanen e.a., 1995)
⁴ VWO/HAVO 17-18 jarige schoolverlaters (Oudenhuijzen & Werkhoven, 1996)

Naast de veranderingen van sd met de transversale toename van mannen en vrouwen hebben we mogelijkwerijs ook te maken met seculaire toe- of afname van de sd. Tabel I geeft een overzicht van gemiddelde stahoogten en standaarddeviaties van volgroeide mannen en vrouwen zoals gerapporteerd in verschillende studies en verschillende meetjaren. Ondanks de verschillende samenstellingen van populaties en meetjaren zien we dat de standaarddeviatie voor stahoogte van mannen opvallend constant is gebleven tussen 1965 en 1995. Uitzondering hierop vormen de studies waarbij vooraf op lengte is geselecteerd en dus de sd lager verwacht mag worden. Deze studies zullen we hier verder niet gebruiken. De gemiddelde sd voor uitgegroeide mannen is 6.7 cm. De sd voor vrouwen lijkt licht toegenomen te zijn van 5.9 in 1965 tot 6.4 in 1995, maar lijkt tussen 1986 en 1995 gestabiliseerd te zijn op 6.4 cm.

Op basis van deze observaties stellen we de sd voor volgroeide mannen op 6.7 cm en die voor volgroeide vrouwen op 6.4 cm.

4 VOORBEELD: EXTRAPOLATIE STAHOOGTE DOELPOPULATIE KLu

In dit hoofdstuk wordt een voorbeeld gegeven hoe de onder hoofdstuk 3 beschreven kennis toegepast kan worden. Voor de Koninklijke Luchtmacht werden in '95-'96 de lichaamsmaten van eindexamen-kandidaten (HAVO/VWO) bemeten, ofwel $L('95, 17.5)$. Uit deze populatie worden kandidaten geselecteerd voor vliegers. Deze kandidaten groeien echter nog steeds door en het is van belang om te kunnen voorspellen hoeveel deze doorgroei bedraagt, d.w.z. het is van belang een schatting te hebben van $L('97, 19.5)$. Hiervoor passen we de onder (2) beschreven extrapolatiemethode toe.

4.1 Extrapolatie gemiddelde stahoogte KLu bron populatie

De transversale toename van stahoogte van 17.5 naar 19.5 wordt geschat op basis van de meest recente transversale studie en bedraagt 1.7 cm voor mannen. De seculaire toename voor mannen bedraagt 0.16 cm per jaar vanaf 1970. Daarmee komt de voorspelde totale longitudinale toename voor mannen op 2.0 cm. De huidige stahoogte van 17.5-jarige mannelijke schoolverlaters (HAVO/VWO) is bekend uit de ANTRO 1995 studie (Ouden-huijzen & Werkhoven, 1996) en is 180.9 cm (gemiddeld over ras en regio). Met een huidige stahoogte $L('95, 17.5) = 180.9$ cm wordt de geëxtrapoleerde stahoogte $L('97, 19.5) = 182.9$ cm. De standaarddeviatie verandert nauwelijks in de loop van de tijd en zal ook in '97 ongeveer 6.7 cm bedragen.

Bij vrouwelijke schoolverlaters is de huidige stahoogte $L('95, 17.5) = 169.5$ cm. Aangezien we voor vrouwen dezelfde seculaire toename aanhouden als voor mannen, maar een transversale toename aanhouden van 0.4 cm, is de voorspelde stahoogte $L('97, 19.5) = 170.2$ cm. Ook de standaarddeviatie voor vrouwen verandert nauwelijks. Deze zal in '97 ongeveer 6.4 cm bedragen.

Tabel II Extrapolatie KLu bronpopulatie (schoolverlaters VWO/HAVO).

stahoogte	man		vrouw	
	gem. (cm)	sd (cm)	gem. (cm)	sd (cm)
17.5-jarigen in '95 (ANTRO 1995)	180.9	6.7	169.5	6.4
19.5-jarigen in '97 (extrapolatie)	182.9	6.7	170.2	6.4

Hierbij is gemiddeld over ras en regio. Voor Kaukasische mannelijke schoolverlaters alleen wordt een hogere stahoogte in 1997 verwacht: $L('97, 19.5) = 183.3$. Voor Kaukasische vrouwelijke schoolverlaters is dit 170.8 cm.

4.2 Fout in extrapolatie gemiddelde stahoogte bronpopulatie KLu

De standaardfout in de geëxtrapolerde stahoogte wordt bepaald door (1) de fout in de bepaling van de initiële stahoogte, (2) de fout in de schatting van de transversale toename en (3) de fout in de schatting van de seculaire toename. De fout in de bepaling van de initiële stahoogte is afhankelijk van de standaarddeviatie en het aantal metingen (zie § 6.1) en bedraagt voor zowel mannen als vrouwen ongeveer 0.4 cm. De fout in de geschatte transversale toename bedraagt ongeveer 0.5 cm voor mannen en 0.2 cm voor vrouwen. Voor de geschatte fout in de seculaire toename nemen we 0.05 cm voor zowel mannen en vrouwen.

De totale standaardfout in de geëxtrapolerde stahoogte komt daarmee op ongeveer 0.6 cm voor mannen en 0.4 cm voor vrouwen.

5 EXTRAPOLATIE OVERIGE LICHAAMSMATEN

De bovenstaande discussie over groei en extrapolatie was toegespitst op stahoogte. Over de andere, voor de KLu relevante, lichaamsmaten bestaan noch betrouwbare transversale noch longitudinale studies. Het is dus slecht bekend hoe de groei van overige lichaamsmaten correleert met stahoogte. Schaarse literatuurgegevens wijzen er echter op dat de verandering van overige lichaamsmaten niet proportioneel is met stahoogte.

Allereerst neemt het gewicht van jongens en meisjes nog steeds significant toe na dat de toename van stahoogte gestopt is. Dit wijst er dus op dat overige lichaamsmaten nog zullen veranderen. Het Statistisch Jaarboek '95 laat zien dat jongens in hun twintigste jaar gemiddeld 1.5 kg zwaarder worden en tussen 25 en 35 jaar in totaal nog eens 3 kg. Bij meisjes neemt het lichaamsgewicht in het twintigste jaar met 0.8 kg toe en nog eens 1 kg tussen 25 en 35 jaar. De Quetelet Index (de verhouding tussen het lichaamsgewicht en de gekwadraterde stahoogte) neemt dus toe! Verder laat Kemper (1985, blz. 72) zien dat bij meisjes de verhouding tussen stahoogte en zithoogte nog steeds toeneemt op 17-18 jarige leeftijd, en dus dat de benen relatief langer worden. Bij jongens blijft deze verhouding tijdens de groei

redelijk constant. Ook de omtrek van ledematen verandert nog steeds na de maximale stahoogte bereikt te hebben. Bij meisjes (Kemper, 1985, blz. 92) neemt met name de omvang van de triceps toe, terwijl de omvang van de biceps stabiel blijft. Bij jongens blijven de biceps en triceps constant, terwijl de sub-scapularis en supra iliaca toenemen. Uit het voorgaande is duidelijk dat zeker niet alle overige lichaamsmaten proportioneel groeien met stahoogte. In § 5.1 zal ingegaan worden op een analyse methode die meer inzicht verschaft over welke factoren wel en niet correleren met stahoogte.

5.1 De dimensionaliteit van het groeiproces

Het is goed denkbaar dat de verschillende lichaamsmaten te groeperen zijn in groepen van maten waarbinnen de groei redelijk gecorreleerd is. Een dergelijke clustering kan bepaald worden door middel van Factor Analyse op een antropometrisch bestand dat meerdere lichaamsmaten bevat, bijvoorbeeld het ANTRO 1995.

Indien blijkt dat het groeiproces beschreven kan worden in termen van slechts een paar groeifactoren, dan kan voor toekomstige updates van het antropometrisch bestand (bv. uit keuringsmetingen door de KLu) volstaan worden met het meten van een beperkt aantal lichaamsmaten die de hoofd-groeifactoren vormen.

Om inzicht te krijgen in het aantal hoofd-factoren die de variantie in lichaamsmaten bepalen is een factor-analyse uitgevoerd op het antropometrisch bestand ANTRO 1995. Uit de analyse (principal components analysis) van 37 variabelen blijkt dat vier factoren reeds 70% van de variantie kunnen beschrijven voor zowel mannen als vrouwen (zie Tabel III).

Tabel III Verklaarde variantie door factoranalyse op lichaamsmaten.

	vrouwen		mannen	
	% variantie per factor	% cumulatief	% variantie per factor	% cumulatief
factor 1	43.9	43.9	44.6	44.6
factor 2	12.7	56.6	14.1	58.8
factor 3	7.5	64.1	7.0	65.8
factor 4	6.1	70.2	6.5	72.3

2 factoren	1 lengtematen	33%
	2 breedte- en omvangmaten, gewicht	24%
3 factoren	1 lengtematen	28%
	2 breedte- en omvangmaten, gewicht	21%
	3 bij vrouwen: zithoogte	
	bij mannen: voet- en handbreedte	15%
4 factoren	1 lengtematen	27%
	2 breedte- en omvangmaten, gewicht	19%
	3 voet- en handbreedte	16%
	4 zithoogte	9%

Om tot een interpretatie van de factoren te komen worden deze orthogonaal geroteerd (Varimax normalized). De daaruit resulterende factoren kunnen als in Tabel III, onderste deel worden benoemd (met bijbehorende proportie van de verklaarde variantie).

De interpretatie van de vier factoren is vrij eenduidig. Lengtematen blijken in grote mate van elkaar afhankelijk te zijn en onafhankelijk van gewicht, breedte- en omvangmaten. Daarnaast zorgen nog twee factoren bij elkaar voor 25% van de variantie: voet- en handbreedte en zithoogte.

Binnen het cluster lengtematen moet het dus mogelijk zijn goede regressiefuncties te vinden die een lengtemaat in de anderen uitdrukt. Vooralsnog kennen we uit de literatuur hoofdzakelijk de groei van stahoogte. We zullen dan ook kijken hoe bijvoorbeeld bil–knieschijf–diepte correleert en afhangt van stahoogte. Verder moet er rekening mee gehouden worden dat zithoogte een aparte factor vormt.

5.2 Correlaties lichaamsmaten met stahoogte

Hier wordt nagegaan welke lichaamsmaten een hoge correlatie vertonen met stahoogte, omdat daarvan de transversale en seculaire toename uit de literatuur bekend zijn. Hiervoor gebruiken we twee studies: een onderzoek onder Delftse studenten aangeduid met “DELSTU 1986” (Molenbroek, 1994) en een onderzoek onder middelbare scholieren, aangeduid met “ANTRO 1995” (Oudenhuijzen & Werkhoven, 1996).

Tabel IV geeft enkele lichaamsmaten die hoog correleren met stahoogte zoals te vinden op blz. 159 van Molenbroek (1994).

Tabel IV Correlaties met stahoogte studenten uit DELSTU 1986.

lichaamsmaat	correlatie man	correlatie vrouw
bil – knieschijf diepte, zittend	0.772	0.810
kruin – zitvlakhoogte	0.742	0.805
ooghoogte, zittend	0.720	0.724
onderbeenlengte	0.842	0.755
handlengte	0.733	0.676
elleboog – vingertop	0.857	0.793
bil – voetdiepte	0.862	0.857

Voor deze lichaamsmaten is het interessant om in eerste orde naar het verband te kijken met stahoogte en een lineaire regressie te doen.

5.3 Regressiefuncties

Een belangrijke vraag is nu of de regressiecoëfficiënten veranderen met seculaire toename of met transversale toename. Als voorbeeld nemen we de bil–knieschijf diepte die we afkorten

met B. De stahoogte noemen we L. We benaderen nu het verband tussen B en L in eerste orde als een lineair verband:

$$B = \alpha L + \beta$$

We moeten er in eerste instantie vanuit gaan dat de parameters α en β beide kunnen afhangen van het meetjaar (y) en de leeftijd (a):

$$B(y,a,L) = \alpha(y,a)L + \beta(y,a)$$

Nu willen we de bil-knieschijfdiepte extrapoleren naar een later moment, zeg een aantal jaren dy van y vandaan, en dus een leeftijdstoename da=dy. Hiertoe gebruiken we een lineaire benadering van B(y,a,L) in de tijd:

$$B(y+dy,a+da,L) = [\alpha(y,a) + \alpha_y dy + \alpha_a da]L + [\beta(y,a) + \beta_y dy + \beta_a da]$$

Helaas bestaan er slechts twee (niet-transversale) studies (DELSTU 1986 en ANTRO 1995) waarin voldoende overige lichaamsmaten bemeten zijn. Hiermee kan dus slechts de *som* van de seculaire bijdrage (van '86 naar '96) en transversale bijdrage (van 21 naar 17.5 jaar) aan de verandering van de regressieparameters bepaald kan worden.

Aannemende dat we deze studies met elkaar qua populatie mogen vergelijken, gaan we nu voor beide de regressieparameters α en β bepalen (zie Tabellen Va en Vb), zodat we een schatting kunnen maken van de verandering van deze parameters in de loop van de tijd.

Tabel Va Regressieparameters van enkele lichaamsmaten versus stahoogte voor mannen.

lichaamsmaat	studie	α (st.fout in α)	β (st.fout in β) in cm
bil – knieschijfdiepte	ANTRO 1995	0.34 (0.02)	1.0 (3.3)
	DELSTU 1986	0.35 (0.02)	-0.5 (3.2)
zithoogte	ANTRO 1995	0.43 (0.02)	15.7 (3.8)
	DELSTU 1986	0.37 (0.02)	27.3 (3.3)

Tabel Vb Regressieparameters van enkele lichaamsmaten versus stahoogte voor vrouwen.

lichaamsmaat	studie	α (st.fout in α)	β (st.fout in β) in cm
bil – knieschijfdiepte	ANTRO 1995	0.37 (0.02)	-3.7 (3.3)
	DELSTU 1986	0.37 (0.03)	-2.7 (4.9)
zithoogte	ANTRO 1995	0.38 (0.02)	23.8 (3.4)
	DELSTU 1986	0.42 (0.03)	18.1 (5.6)

Voor bil–knieschijfdiepte kunnen we concluderen dat de regressieparameters voor de ANTRO 1995 studie geen van beide significant (tweezijdige toetsing met significantieniveau 0.05) verschillen van die van de DELSTU 1986 studie. Dit geldt voor zowel vrouwen als mannen. De *som* van de seculaire bijdrage (van '86 naar '96) en transversale bijdrage (van 21 naar 17.5 jaar) aan de verandering van de regressieparameters is vrijwel nul. Daaruit kan in principe niet geconcludeerd worden dat de afzonderlijke bijdragen nul zijn.

Op basis van deze informatie mogen we het wel waarschijnlijk achten dat de regressieparameters voor bil–knieschijfdiepte niet of nauwelijks veranderen. Zowel seculaire als transversale veranderingen geven dus slechts een verschuiving van het verband tussen bil–knieschijfdiepte en stahoogte langs de regressielijn. Daarmee is de extrapolatie van bil–knieschijfdiepte dus via in de tijd constante regressieparameters gekoppeld aan de extrapolatie van stahoogte. Voor het extrapolatiedoel middelen we de beide regressieparameters over de twee studies.

Zithoogte geeft vergelijkbare regressiefuncties voor ANTRO 1995 en DELSTU 1986 waar het gaat om vrouwen. De regressieparameters verschillen niet significant (tweezijdige toetsing met significantieniveau 0.05). Uit significantie-analyse van de verschillen uit Tabel Va blijkt dat de regressiefuncties voor de zithoogte van mannen wel significant verschillend is voor ANTRO 1995 en DELSTU 1986. Zoals gezegd worden deze verschillen veroorzaakt door zowel transversale als seculaire effecten, die op basis van deze twee studies niet onderscheidbaar zijn. Ervan uitgaande dat de transversale component (zie § 3.2) sterker varieert dan de seculaire (zie § 3.1) lijkt het verstandig om voor de zithoogte van mannen de regressieparameters uit de DELSTU 1986 aan te houden.

5.4 Voorbeeld: Extrapolatie bil–knieschijfdiepte en zithoogte KLu

Op basis van bovenstaande analyse kunnen we nu een extrapolatie doen van zithoogte en bil–knieschijfdiepte op basis van de geëxtrapoleerde stahoogte (zie Tabel II) en de gevonden lineaire verbanden met stahoogte (Tabellen Va en Vb). Tabellen VI en VII geven een overzicht van de geëxtrapoleerde lichaamsmaten.

Tabel VI Extrapolatie KLu bronpopulatie (schoolverlaters VWO/HAVO).

bil–knieschijfdiepte (B)	man		vrouw	
	gem. (cm)	sd (cm)	gem. (cm)	sd (cm)
17.5-jarigen in '95 (ANTRO 1995)	62.4	3.1	58.8	2.9
regressievergelijking met L (cm)	$B = 0.35 L + 0.25$		$B = 0.37 L - 3.2$	
19.5-jarigen in '97 (extrapolatie)	64.3	3.1	60.3	2.9
21-jarigen in '86 (DELSTU 1986)	63.3	3.0	60.3	3.0

Voor de standaarddeviatie is aangenomen dat deze niet of nauwelijks verandert in de loop van de tijd (evenals de standaarddeviatie voor stahoogte). Deze aanname wordt ondersteund door gegevens uit de DELSTU 1986 (zie Molenbroek, 1994, blz. 366) die daarom zijn toegevoegd aan Tabel VI.

Tabel VII Extrapolatie KLu bronpopulatie (schoolverlaters VWO/HAVO).

zithoogte (Z)	man		vrouw	
	gem. (cm)	sd (cm)	gem. (cm)	sd (cm)
17.5-jarigen in '95 (ANTRO 1995)	93.4	3.7	88.6	3.1
regressievergelijking met L (cm)	$Z = 0.37 L + 27.3$		$Z = 0.40 L + 21.0$	
19.5-jarigen in '97 (extrapolatie)	95.0	3.7	89.6	3.1
21-jarigen in '86 (DELSTU 1986)	94.6	3.3	88.9	3.3

Molenbroek hanteert de term “kruin-zitvlakhoogte” in plaats van onze benaming “zithoogte”. Zijn gegevens uit de DELSTU 1986 zijn ook in Tabel VII opgenomen.

5.5 Fouten in extrapolatie van bil–knieschijfdiepte en zithoogte

De geschatte (standaard)fouten in de regressieparameters en in de gemeten stahoogte werken op directe wijze door in die van de geëxtrapoleerde lichaamsmaten. Als generiek voorbeeld nemen we een lineair verband tussen maat M en L:

$$M = \alpha L + \beta$$

Wanneer we de fout in de bepalingen van L, α , β respectievelijk ϵ_L , ϵ_α , en ϵ_β noemen dan geldt voor de fout ϵ_M in de geëxtrapoleerde gemiddelde maat M:

$$\epsilon_M = \sqrt{\alpha^2 \epsilon_L^2 + L^2 \epsilon_\alpha^2 + \epsilon_\beta^2}$$

Voorbeeld: deze uitdrukking gebruiken we om de fouten in de geëxtrapoleerde bil–knieschijfdiepte B en zithoogte Z te vinden. De resultaten staan samengevat in Tabel VIII.

Tabel VIII Standaard fouten *geëxtrapoleerde* lichaamsmaten op basis van regressie.

	man		vrouw	
	gem. (cm)	fout in gem. (cm)	gem. (cm)	fout in gem. (cm)
stahoogte (L)	182.9	0.6	171.5	0.6
zithoogte (Z)	95.0	4.9	89.6	6.5
bil – knieschijf diepte (B)	64.3	4.9	60.3	6.6

5.6 Proportionaliteitsaannname

De fouten in geëxtrapoleerde lichaamsmaten kunnen aanzienlijk oplopen, met name door de flinke fout die optreedt in de bepaling van de interceptparameter (β) van de regressiefuncties. Indien voorkennis bestond over de waarde van deze parameters zou de extrapolatiefout kleiner kunnen worden. Deze kennis bestaat echter niet. Wel kunnen aannamen gemaakt worden.

Een veel gemaakte aanname is de proportionaliteitsaannname, waarbij wordt aangenomen dat de groei in bepaalde lichaamsmaten proportioneel is met de groei in stahoogte. In feite betekent dit dat men aanneemt dat de interceptparameter (β) nul is. In Tabellen IV en V is duidelijk te zien dat β inderdaad niet significant van nul verschilt voor bil – knieschijf diepte, maar wel voor zithoogte (tweezijdige toets, significantieniveau 0.05).

Voor bilknieschijf diepte mogen we dus proportionaliteit aannemen. Dus zal B met het zelfde percentage toenemen als L. Nu kan de extrapolatie met een kleinere fout gedaan worden. De regressielijnen kunnen namelijk opnieuw bepaald worden, maar nu dwingend door de oorsprong. De fout in β wordt nul en de fout in α wordt kleiner. De regressielijn wordt nu $B=0.354L$ voor mannen en $B=0.346L$ voor vrouwen (gemiddeld over ANTRO 1995 en DELSTU 1986). De fout in de regressieparameter bedraagt nu ongeveer 0.001.

Voorbeeld: L neemt toe met 2 cm van 180.9 voor 17.5-jarige mannen in 1995 tot 182.9 cm voor 19.5-jarigen in 1997. In het verschil van 2 cm zit een fout van 0.5 cm. De bil – knieschijf diepte bedraagt in 1995 voor 17.5-jarige mannen 62.4 cm (fout 0.18 cm) en 59.8 cm voor vrouwen (fout 0.19 cm). De proportioneel geëxtrapoleerde bil – knieschijf diepte voor mannen in 1997 wordt nu 64.0 cm met een fout van 0.27 cm. Voor vrouwen bedraagt dit 60.0 cm met een fout van 0.28 cm.

6 EFFECTEN VAN FOUTEN IN GEMIDDELDE EN IN STANDAARDDEVIATIE OP AFVALPERCENTAGE BIJ SELECTIE

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op hoe optredende fouten in de bepaling van gemiddelde en standaarddeviaties van lichaamsmaten doorwerken op het percentage afvallers bij selectieprocedures. Alvorens deze analyse te doen, zullen enkele begrippen gedefinieerd worden en

zal worden beschreven hoe fouten zo klein mogelijk gehouden kunnen worden door optimalisatie van de steekproef.

6.1 Middelbare fout in populatiegemiddelde

Stel dat de waarschijnlijkheidsverdeling van een grootte x (bv. lichaamslengte) over een populatie beschreven wordt door een normaalverdeling $P(x)$ met een (rekenkundig) gemiddelde μ en standaarddeviatie σ .

Om het rekenkundig gemiddelde te schatten doen we n metingen en bepalen het gemiddelde $\langle x \rangle$ over deze metingen. De middelbare fout in dit gemeten gemiddelde $\langle x \rangle$ noemen we ε (de standaarddeviatie van de verdeling van $\langle x \rangle$) en neemt af naarmate meer metingen gedaan worden:

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

6.2 Nauwkeurigheid

Voor de definitie van nauwkeurigheid eisen we dat er slechts een kans α bestaat dat de absolute afwijking van het gemeten gemiddelde $\langle x \rangle$ ten opzichte van het werkelijk populatiegemiddelde μ groter is dan een bepaalde waarde c :

$$P(|\langle x \rangle - \mu| > c) = \alpha$$

ofwel,

$$P[(\langle x \rangle - \mu) < -c] = \frac{\alpha}{2}$$

en

$$P[(\langle x \rangle - \mu) > c] = \frac{\alpha}{2}$$

Dit betekent dat de standaarddeviatie van de verdeling van $\langle x \rangle$ (die gelijk is aan σ/\sqrt{n}) voldoende klein moet zijn ten opzichte van c . In andere woorden, het aantal samples n moet voldoende groot zijn om deze vereiste nauwkeurigheid te halen:

$$\text{Erf}\left(\frac{c}{\varepsilon}\right) = \text{Erf}\left(\frac{c\sqrt{n}}{\sigma}\right) = \frac{\alpha}{2},$$

en dus:

$$\sqrt{n} = \frac{\sigma}{c} \text{InvErf}\left(\frac{\alpha}{2}\right),$$

waarbij *InvErf* de inverse normaalverdelingsfunctie is (ook wel inverse errorfunctie genoemd).

Rekenvoorbeeld: Wanneer de kans op overschrijding van $|\mu - \langle x \rangle|$ met meer dan 1 cm slechts 5% mag zijn, en de populatie een verwachte standaarddeviatie van 6 cm heeft, moet het aantal samples n minstens 138 zijn, want $\text{InvErf}(0.025) = -1.96$.

6.3 Middelbare fout in totaalgemiddelde van een aantal subpopulaties

Stel dat de doelpopulatie is opgedeeld in een aantal onderscheidbare subpopulaties, geïndiceerd met i (zie Lotens e.a., 1993):

- fractie van de doelpopulatie p_i
- aantal samples n_i
- gemeten gemiddelde $\langle x \rangle_i$
- gemeten standaarddeviatie σ_i
- middelbare fout in x_i ε_i
- werkelijk gemiddelde μ_i

Het gemiddelde $\langle x \rangle_i$ van de steekproef is:

$$\langle x \rangle = \sum p_i \langle x \rangle_i$$

Laat nu ε de middelbare fout in $\langle x \rangle$ zijn. Verder noteren we μ als het werkelijk gemiddelde van de doelpopulatie. De middelbare fout ε in $\langle x \rangle$ is:

$$\varepsilon^2 = \langle (\langle x \rangle - \mu)^2 \rangle = \langle [\sum p_i (\langle x \rangle_i - \mu_i)]^2 \rangle = \sum p_i^2 \langle (\langle x \rangle_i - \mu_i)^2 \rangle$$

ofwel

$$\varepsilon^2 = \sum p_i^2 \varepsilon_i^2 = \sum \frac{p_i^2 \sigma_i^2}{n_i}$$

6.4 Optimale verdeling van samples over subpopulaties: Minimalisatie ε^2 naar n_i

Aan de hand van een eenvoudig voorbeeld wordt hier inzichtelijk gemaakt hoe de keuze van n_i moet afhangen van de fracties p_i en de standaarddeviaties σ_i van de subpopulatie. Stel dat we slechts 2 subpopulaties hebben, met $n_1 + n_2 = n$. De fout ε in $\langle x \rangle$ is:

$$\varepsilon^2 = \frac{p_1^2 \varepsilon_1^2}{n_1} + \frac{p_2^2 \varepsilon_2^2}{(n-n_1)}$$

Nu willen we ε^2 minimaliseren naar n_1 :

$$\frac{\partial \varepsilon^2}{\partial n_1} = \frac{-p_1^2 \varepsilon_1^2}{n_1^2} + \frac{p_2^2 \varepsilon_2^2}{(n-n_1)^2} = 0$$

ofwel:

$$n_1 = \frac{p_1 \varepsilon_1}{p_1 \varepsilon_1 + p_2 \varepsilon_2} n.$$

Er kan in het algemeen bewezen worden (Bolle e.a., 1987) dat:

$$n_i = \frac{p_i \sigma_i}{\sum p_i \sigma_i} n$$

6.5 De fout in percentielwaarden

Tot nu toe is gesproken over de fout (ε) in het gemiddelde $\langle x \rangle$, ofwel de fout in de percentielwaarde P50. Vaak worden voor spiegeling aan criteria echter andere percentielwaarden gebruikt (bv. P95 en P99). Een belangrijke vraag is dus: wat is de fout in de schatting van percentielwaarden? Omdat voor percentielwaarden zowel de fout in $\langle x \rangle$ als in σ meespelen wordt hier aandacht besteed aan de vraag: wat is de fout in σ ?

Variantie in σ^2

Stel dat een aselechte steekproef van omvang n wordt getrokken uit een normaal verdeelde populatie met onbekende standaarddeviatie σ . Ook de verwachtingswaarde van het gemiddelde μ is onbekend.

De steekproefvariantie s^2 kan dienen als schatter voor σ^2 . De verhouding tussen s^2 en σ^2 wordt beschreven door een " χ^2 -verdeling" als functie van n (zie Freund & Walpole, 1987, blz. 285):

$$\frac{(n-1)s^2}{\sigma^2} \approx \chi^2(n-1)$$

Daar

$$\langle \chi^2(n-1) \rangle = n-1$$

volgt hieruit dat $\langle s^2 \rangle = \sigma^2$.

Verder is de variantie in $\chi^2(n-1) = 2(n-1)$, zodat de variantie in s^2 gelijk is aan:

$$\text{var}(s^2) = \frac{2\sigma^4}{n-1}$$

Variantie in σ

De verdeling van s kan voor grote n worden benaderd door een normaalverdeling met:

$$\langle s \rangle = \sigma$$

en

$$\text{var}(s) = \frac{\sigma^2}{2(n-1)} \approx \frac{\sigma^2}{2n}$$

Dit is als volgt in te zien:

$$\frac{s}{\sigma} \sqrt{2(n-1)} = \sqrt{2 \frac{(n-1)s^2}{\sigma^2}} \approx \sqrt{2\chi^2(n-1)}$$

Dit heeft een normaalverdeling met verwachting $[(2(n-1)-1)]^{1/2}$ en variantie 1.

Voorbeeld: variantie P98

De variantie in P98 ($= \langle x \rangle + 2\sigma$) wordt bepaald door de variantie in $\langle x \rangle$ (gelijk aan σ^2/n) en door de fout in σ (gelijk aan $\sigma^2/2n$). De variantie in P98 is gelijk aan de som van de varianties in $\langle x \rangle$ en in (2σ) en is dus gelijk aan $3\sigma^2/n$. We moeten er dus rekening mee houden dat de fout in P98 ongeveer $\sqrt{3}$ maal groter is dan de fout in P50.

6.6 Invloed meetfouten op selectie volgens criterium

Stel dat de steekproef om de lichaamslengte van een populatie in kaart te brengen een normaal-verdeling heeft met gemiddelde $\langle x \rangle$ en standaarddeviatie s . Bij een selectie wordt het criterium gebruikt dat personen met een lichaamslengte langer dan c worden uitgeselecteerd. Het percentage (A) van de bevolking dat wordt uitgeselecteerd is dan:

$$A = 1 - \text{Erf}\left(\frac{c - \langle x \rangle}{s}\right).$$

Het effect op A van fouten in de bepaling van $\langle x \rangle$ en s is:

$$dA = -\frac{\partial}{\partial \langle x \rangle} \text{Erf}\left(\frac{c - \langle x \rangle}{s}\right) \cdot d\langle x \rangle - \frac{\partial}{\partial s} \text{Erf}\left(\frac{c - \langle x \rangle}{s}\right) \cdot ds$$

ofwel:

$$dA = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{(c - \langle x \rangle)}{s} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{c - \langle x \rangle}{s}\right)^2} \left[\frac{1}{s} d\langle x \rangle + \left(\frac{c - \langle x \rangle}{s^2}\right) ds \right]$$

De standaarddeviatie ε_A in de verdeling van A is:

$$\varepsilon_A = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{(\langle x \rangle - c)}{s} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{c - \langle x \rangle}{s}\right)^2} \left[\left(\frac{\varepsilon_{\langle x \rangle}}{s}\right)^2 + \left(\frac{(c - \langle x \rangle)\varepsilon_s}{s^2}\right)^2 \right]^{1/2},$$

waarbij ε_s de standaarddeviatie van de verdeling van s is, en $\varepsilon_{\langle x \rangle}$ de standaarddeviatie van $\langle x \rangle$.

We weten al dat $\varepsilon_{\langle x \rangle}$ gelijk is aan σ/\sqrt{n} en dat ε_s gelijk is aan $\sigma/\sqrt{2n}$.

Dus:

$$\varepsilon_A = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{(\langle x \rangle - c)}{s} \frac{e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{c - \langle x \rangle}{s}\right)^2}}{\sqrt{n}} \cdot \left[1 + \frac{1}{2} \left(\frac{c - \langle x \rangle}{s}\right)^2 \right]^{1/2},$$

Rekenvoorbeeld: Uit een steekproef blijkt dat de gemiddelde lichaamslengte van mannen $\langle x \rangle = 181.2$ cm bedraagt, met een standaarddeviatie $s = 6.8$ cm. De doorgroei zal 2 cm bedragen ($\langle x \rangle$ wordt 183.2 cm).

Indien de luchtmacht het selectiecriterium stelt op $c = 193$ cm wordt het afvalpercentage 7.5% met een fout van 1.8% (indien $n = 250$) en een fout van 1.3% (indien $n = 500$).

Indien we ook de fout in de geschatte doorgroei meenemen in de berekeningen (d.w.z. meenemen in de fout voor het gemiddelde), wordt de fout in het afvalpercentage groter.

7 CONCLUSIES

Lichaamsmaten zijn onder andere afhankelijk van leeftijd en meetjaar en variëren dus in de tijd. Indien een uitspraak gedaan moet worden over antropometrische gegevens in de toekomst dient dus een methode beschikbaar te zijn om huidige bestanden te extrapoleren.

In dit rapport wordt beschreven hoe, door linearisatie van stahoogte naar leeftijd en meetjaar, de longitudinale groei kan worden opgedeeld in twee componenten: transversale en seculaire toename. Er zijn een beperkt aantal nationale transversale en seculaire studies bekend voor stahoogte. Uit een analyse van transversale studies is gebleken dat in 1995 de stahoogte van mannen met een leeftijd van 19.5 jaar $1.7 (\pm 0.5)$ cm langer zijn dan 17.5-jarigen (*transversale* toename). Voor vrouwen bedraagt deze toename $0.4 (\pm 0.2)$ cm. De seculaire toename in stahoogte bedraagt $0.16 (\pm 0.05)$ cm per jaar (voor zowel mannen als vrouwen).

Van overige lichaamsmaten zijn onvoldoende transversale en seculaire studies bekend. Overige lichaamsmaten kunnen daarom slechts geëxtrapoleerd worden voor zover gecorreleerd aan stahoogte. Lichaamsmaten die hoog correleren zijn o.a. bil-knieschijfdiepte en zithoogte. Deze maten kunnen geëxtrapoleerd worden uit het lineair verband met stahoogte. De beide regressieparameters die dit lineaire verband beschrijven konden voor twee studies (ANTRO 1995 en DELSTU 1986) bepaald worden.

Om de regressieparameters te extrapoleren is de ontwikkeling van deze parameters in de tijd in eerste orde benaderd, waardoor wederom een scheiding ontstaat in transversale en seculaire componenten. Op basis van beschikbare studies naar overige lichaamsmaten kunnen deze componenten echter niet afzonderlijk bepaald worden.

Voor bil-knieschijfdiepte kan wel aannemelijk gemaakt worden dat de regressielijn niet in de tijd verandert, waarmee het waarschijnlijk is dat transversale en seculaire componenten beide nul zijn. Als gevolg hiervan kan bil-knieschijfdiepte direct geëxtrapoleerd worden uit geëxtrapoleerde stahoogte, maar met grote extrapolatiefout. De proportionaliteitsaannname reduceert de extrapolatiefout, doordat de regressielijn door de oorsprong wordt gedwongen.

Voor zithoogte geldt constantie in de tijd alleen voor vrouwen, voor mannen verschillen de regressieparameters van de recente ANTRO 1995 studie significant van die uit de DELSTU 1986. Tevens geldt voor beide studies dat de interceptparameter significant van nul verschilt waardoor de proportionaliteitsaannname niet geldt. Als gevolg hiervan kan voor extrapolatiedoeleinden slechts gewerkt worden met de meest recent regressielijn, namelijk die van de ANTRO 1995 studie.

Als voorbeeld zijn enkele lichaamsmaten voor de bronpopulatie KLu geëxtrapoleerd van 1995 naar 1997. Op basis van beschikbare transversale studies, studies naar seculaire toename en de huidige ANTRO 1995 studie kan voorspeld worden wat de gemiddelde waarde en standaarddeviatie zullen zijn van de stahoogteverdeling van 19.5-jarigen (geëxtrapoleerd vanuit de huidige bronpopulatie KLu) in 1997. De *stahoogte* van mannen met een leeftijd van 17.5 jaar in 1995 zal toegenomen zijn (*longitudinale* toename) met 2.0 cm van 180.9 cm tot 182.9 cm bij het bereiken van de 19.5-jarige leeftijd in 1997. Voor vrouwen bedraagt deze longitudinale toename van stahoogte 0.7 cm van 169.5 cm tot 170.2 cm. De standaarddeviatie van stahoogte zal onveranderd blijven: 6.7 cm voor mannen en 6.4 cm voor vrouwen.

Voor de KLu bronpopulatie wordt in 1997 een *bil-knieschijfdiepte* verwacht (extrapolatie op basis van regressie onder de proportionaliteitsaannname) van 64 ± 0.3 cm voor mannen

en 60 ± 0.3 cm voor vrouwen. *Zithoogte* wordt op basis van regressie 95 ± 4.9 cm voor mannen en 89.6 ± 4.9 cm voor vrouwen (voor *zithoogte* geldt geen proportionaliteit met *stahoogte*).

Er dient rekening gehouden te worden met het feit dat voor selectiedoeleinden veelal percentielwaarden gebruikt worden anders dan het gemiddelde (P50). Voor de fout in overige percentielwaarden gaat ook de fout in de gemeten standaarddeviatie meespelen. Zo is voor een steekproef de fout in P98 ongeveer $\sqrt{3}$ maal groter is dan de fout in P50. Extrapolatiefouten komen hier nog boven op.

Concluderend kan gesteld worden dat, op basis van beschikbare antropometrische studies (inclusief de meest recente ANTRO 1995 studie), de *stahoogte* met voldoende nauwkeurigheid (een fout van 0.6 cm) geëxtrapoleerd kan worden naar 1997. Overige lichaamsmaten, voor zover zij al hoog correleren met *stahoogte* (zoals bil–knieschijfdiepte en *zithoogte*), kunnen slechts geëxtrapoleerd worden uit het lineaire verband met *stahoogte*, maar met ontoereikende nauwkeurigheid (in de orde van 5 tot 7 cm). Voor bil–knieschijfdiepte kan, omdat de proportionaliteitsaanname geldt, de fout worden teruggebracht tot 0.3 cm. Dit kan echter alleen voor lichaamsmaten die hoog correleren met *stahoogte* en proportioneel zijn met *stahoogte*.

Om de extrapolatie van overige lichaamsmaten betrouwbaar te kunnen doen is het van cruciaal belang om een tweede antropometrisch onderzoek te doen, bijvoorbeeld in 2000, waarbij dezelfde lichaamsmaten bepaald worden onder schoolverlaters zoals in de ANTRO 1995 studie en onder studenten (de volgroeide schoolverlaters uit de ANTRO 1995 studie). Met kennis van deze twee recente studies kunnen dan zowel transversale als seculaire componenten bepaald worden van alle gemeten lichaamsmaten, anders dan *stahoogte*. De onbetrouwbaar gebleken indirecte extrapolatie (regressie met *stahoogte*) kan dan vervangen worden door directe extrapolatie.

REFERENTIES

- Bolle, E.A.W., Lenoir, J.M.H. & Loon, J.N.M. van (1987). *Wiskundige Statistiek*. Deventer: Van Loghum Slaterus.
- Brekelmans, F.E.M., Moonen, P.I.L. & Osinga, D.S.C. (1986). *Antropometrische steekproef Dutchmil '85* (Rapport IZF 1986-17). Soesterberg: Instituut voor Zintuigfysiologie TNO.
- Daanen, H.A.M., Ellens, E. & Schreibers, K.B.J. (1995). *Antropometrie van KLu helikopter-cockpitbemanningsleden* (Rapport TNO-TM 1995 A-7). Soesterberg: TNO Technische Menskunde.
- Daanen, H.A.M. (1995). *Antropometrie van KLu jachtvliegers* (Rapport TNO-TM 1995 A-29). Soesterberg: TNO Technische Menskunde.
- Kemper, H.C.G., Storm-van Essen, L. & Verschuur, R. (1985). Height, weight and height velocity. In H.C.G. Kemper (Ed.), *Growth, Health and Fitness of Teenagers: longitudinal research in international perspective. Medicine and Sport Science 20*. New York: Karger.
- Kemper, H.C.G. & Verschuur, R. (1985). Body build and body composition. In H.C.G. Kemper (Ed.), *Growth, Health and Fitness of Teenagers: longitudinal research in international perspective. Medicine and Sport Science 20*. New York: Karger.
- Freund, J.E. & Walpole, R.E. (1987). *Mathematical Statistics, 4th edition*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall Inc.
- Lotens, W.A., Brisland, C.E.S. & Havenith G. (1993). *Definitie antropometrisch onderzoek Nederlandse bevolking* (Rapport IZF 1993 C-28). Soesterberg: Instituut voor Zintuigfysiologie TNO.
- Molenbroek, J.F.M. (1994). *Op maat gemaakt; menselijke maten voor het ontwerpen en beoordelen van gebruiksgoederen*. Delft: Delftse Universitaire Pers.
- NASA (1978). *Anthropometric Source Book Volume I: Anthropometry for Designers*. Washington, DC: National Aeronautics and Space Administration, Scientific and Technical Information Office.
- Oudenhuijzen, A.J.K. & Werkhoven, P.J. (1996). *Antropometrische steekproef onder HAVO/VWO schoolverlaters* (Rapport TM-96-A... in voorbereiding). Soesterberg: TNO Technische Menskunde.
- Roede, M.J. & Wieringen, J.C. van (1985). Growth diagrams 1980. Netherlands third nation-wide survey (supplement). *Tijdschrift voor Sociale Gezondheidszorg*, 63 (12), 1-34.
- Statistisch Jaarboek (1991). Den Haag: SDU/Uitgeverij. CBS-publikatie.
- Statistisch Jaarboek (1992). Den Haag: SDU/Uitgeverij. CBS-publikatie.
- Statistisch Jaarboek (1993). Den Haag: SDU/Uitgeverij. CBS-publikatie.
- Statistisch Jaarboek (1994). Den Haag: SDU/Uitgeverij. CBS-publikatie.
- Statistisch Jaarboek (1995). Den Haag: SDU/Uitgeverij. CBS-publikatie.
- Wieringen, J.C. van (1972). *Seculaire groeiverschuivingen: lengte en gewicht surveys 1964-1966 in Nederland in historisch perspectief*. Proefschrift Rijksuniversiteit te Leiden, Nederlands Instituut voor Praeventieve Geneeskunde TNO, Leiden.
- Wijn, J.F. de & Haas, J.H. de (1960). *Groei diagrammen van 1-25-jarigen in Nederland*. Leiden: Nederlands Instituut Praeventieve Geneeskunde.

Soesterberg, 1 november 1996



Dr. P.J. Werkhoven
(auteur, projectleider)

REPORT DOCUMENTATION PAGE

1. DEFENCE REPORT NUMBER (MOD-NL) RP 96-0186	2. RECIPIENT'S ACCESSION NUMBER	3. PERFORMING ORGANIZATION REPORT NUMBER TM-96-A045
4. PROJECT/TASK/WORK UNIT NO. 789.1	5. CONTRACT NUMBER A95/M/370	6. REPORT DATE 1 November 1996
7. NUMBER OF PAGES 30	8. NUMBER OF REFERENCES 19	9. TYPE OF REPORT AND DATES COVERED Final
10. TITLE AND SUBTITLE Extrapolatie van antropometrische gegevens (Extrapolation of anthropometric data)		
11. AUTHOR(S) P.J. Werkhoven		
12. PERFORMING ORGANIZATION NAME(S) AND ADDRESS(ES) TNO Human Factors Research Institute Kampweg 5 3769 DE SOESTERBERG		
13. SPONSORING/MONITORING AGENCY NAME(S) AND ADDRESS(ES) Director of Defence Research and Development Plein 4 2511 CR DEN HAAG		
14. SUPPLEMENTARY NOTES		
<p>15. ABSTRACT (MAXIMUM 200 WORDS, 1044 BYTE)</p> <p>By order of the Royal Netherlands Air Force, TNO Human Factors Research Institute has carried out a study on how to infer from anthropometric data available the expected longitudinal changes in body measures of present-day high-school graduates. <u>Longitudinal</u> growth is determined by repeatedly measuring the body measures of the same subjects over a longer period of time and can be decomposed into two components: <u>transversal</u> and <u>secondary</u> changes. Transversal changes are the differences between body measures of different age-groups measured in a particular year (a snapshot). Secondary changes are the differences between body measures in different years for a particular age-group. Longitudinal growth of <u>stature</u> can be inferred sufficiently accurately from transversal and secondary changes (<u>direct</u> extrapolation). Most recent transversal studies show that 19.5-year old men are approximately 1.7 cm taller than 17.5-year old men (0.4 cm for women). The secondary growth of full-grown men and women is 0.16 cm per year. From these transversal and secondary changes we infer that the stature of 17.5 year old male Dutch high-school graduates (averaged across region and race) in 1995 will increase by 2.0 cm to 182.9 cm in 1997. The body-length of 17.5-year old female high-school graduates in 1995 will increase by 0.7 cm to 170.2 cm in 1997. Transversal and secondary studies on other body measures than stature do not exist in the Netherlands. The extrapolation of body measures other than body-length, therefore, can be done only through <u>indirect extrapolation</u> (some body measures are approximately linearly related to body-length). However, the extrapolation errors are not acceptable (for example, 5-7 cm for sitting height). However, for some body measures such as the buttock-knee length, it is justified to assume proportionality with body-height (linearity with zero off-set) resulting in a reduced extrapolation error (0.3 cm). Thus, successful direct extrapolation is limited to stature and indirect extrapolation of other body measures inevitably results in large errors. It is, therefore, of importance to actually measure transversal and secondary changes of different body measures of high-school graduates (ANTRO 1995) as well as students (full-grown) on a regular basis (e.g. every five year).</p>		
<p>16. DESCRIPTORS</p> <p>Anthropometry Extrapolation Longitudinal Growth Secular Increase Transversal Increase</p> <p>IDENTIFIERS</p>		
17a. SECURITY CLASSIFICATION (OF REPORT)	17b. SECURITY CLASSIFICATION (OF PAGE)	17c. SECURITY CLASSIFICATION (OF ABSTRACT)
18. DISTRIBUTION/AVAILABILITY STATEMENT Unlimited availability		17d. SECURITY CLASSIFICATION (OF TITLES)

VERZENDLIJST

1. Directeur M&P DO
2. Directie Wetenschappelijk Onderzoek en Ontwikkeling Defensie
3. {
Hoofd Wetenschappelijk Onderzoek KL
Plv. Hoofd Wetenschappelijk Onderzoek KL
4. Hoofd Wetenschappelijk Onderzoek KLu
5. {
Hoofd Wetenschappelijk Onderzoek KM
Plv. Hoofd Wetenschappelijk Onderzoek KM
- 6, 7 en 8. Bibliotheek KMA, Breda
9. LtKol. Vliegerarts J.L.A. van der Hoorn, Hoofd Sectie Luchtvaartgeneeskunde en bedrijfsgezondheidszorg (SLB), Sous chef Geneeskundige Zaken, Afd. Bedrijfs- en Luchtvaartgeneeskunde KLu, Den Haag

Extra exemplaren van dit rapport kunnen worden aangevraagd door tussenkomst van de HWOs of de DWO.